

類似度基準による階層的クラスター分析を用いた セル構造生産システムにおける機械セルの構成

安 田 一 彦

I 緒 言

1980年代には多品種中少量生産の生産性を上げるために、ジョブショップ型機械加工を中心に種々のフレキシブル生産システム(FMS: Flexible Manufacturing System)⁽¹⁾が開発・導入された。このFMSは多様な生産要求を柔軟に処理し、しかも高い生産性を保持しようとする生産システムであり、現在実用化されつつあるコンピュータ統合生産(CIM: Computer-Integrated Manufacturing)⁽²⁾の重要な構成要素の1つとなっている。このようなFMSを構築する際、生産性と柔軟性の観点から、適切なシステム形態を選択することが重要である。システムの基本形態には種々のタイプが存在するが、その代表的な基本形態の1つとしてセル構造生産システム(CMS: Cellular Manufacturing System)⁽³⁾がある。

CMSとは、形状、機能、材料、工程などが類似した部品群を、GT(Group Technology)⁽⁴⁾の概念に基づいて構成された機械群により効率的に加工することを狙った生産システムである。したがって、CMSの設計においては、生産対象に応じた適切な部品ファミリのグループ化、それを処理する機械群から成る機械セルの構成およびそれらのレイアウト等、システムの基本的な構造を適切に決定する必要がある。とくに、CMSの基本構造設計の第1段階である、部品のファミリ化と機械のグループ化は重要な問題である。部品のファミリ化に対しては、これまで各種の部品分類システムが提案されてきた⁽⁵⁾。本稿では、「機械セル構成問題」と呼ばれている機械のグループ化を取扱う。

機械セル構成問題に対するアプローチは、BurbidgeのPFA(Production Flow Analysis)⁽⁶⁾以来、数多く提案されている⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾。とりわけ、類似度基準による階層的クラスター分析⁽¹⁰⁾を用いたアプローチは、本来的に内在する幾つかの根本的な問題があるにもかかわらず、その適用の容易さから、広く採用されている⁽¹¹⁾。McAuley⁽¹²⁾がJaccardの類似係数を用いて機械間の類似度を定義し、最短距離法によるクラスター分析をはじめて機械セル構成問題に適用して以来、これまで幾つかの適用例が発表されている⁽¹³⁾⁻⁽¹⁵⁾。ところで、クラスター分析を機械セル構成問題に適用する際には、次の3点に留意することが重要である。まず第1点は、機械間の類似度をどのように定義するかである。一般に、与えられたデータに対して類似度の定義の仕方は一通りでなく、種々の定義が考えられる。したがって、与えられたデータからどのような機械セルを構成するの

かという目的に適合した類似度を定義することが重要である。次に第2点は、どのようなクラスタリング手法が適切か、すなわち、機械セルをどのように構成して行くかというクラスター形成プロセスである。このことは、与えられたデータの性質、個々の手法の理論的性質などを考慮して有効な方法が選択されなければならない。用いるクラスタリング手法により、それぞれの機械セル構成プロセスは必然的に異なる。最後の第3点は、得られたクラスタリング結果から目的とする機械セルに関する情報を抽出し、適切な機械セルを構成することである。多くの場合、構成すべき機械セルの数は前もって与えられていない。したがって、適切な機械セルの数を決定することが問題となる。

本稿では、主に上述の第1および第2点の問題点に着目し、4種類の機械間類似度および代表的な3つのクラスタリング手法を用いて、CMSの基本構造設計における機械セル構成問題に対して階層的クラスター分析の適用を試みる。

II 機械セル構成問題

1 機械一部品対応行列

部品番号、加工工程順序、使用機械、標準加工時間、納期などの生産対象部品の加工に必要なすべての製造情報は、通常、各部品ごとの工程表にまとめて記載されている。ここでは、各部品の各工程で使用する機械に関する情報を用いて、機械と部品の対応関係を定義する。すなわち、部品がその製造過程で特定の機械を使用するか否かに着目する。

そこで、機械と部品の対応関係を表わすために、変数の値が1または0である機械一部品対応変数 r_{mp} を導入する。ここで、もし部品 p ($p=1, 2, \dots, P$) が機械 m ($m=1, 2, \dots, M$) を使用するならば、 $r_{mp}=1$ とし、そうでないならば、つまり、部品 p が機械 m を使用しなければ、 $r_{mp}=0$ とする。このような2値変数 r_{mp} を用いれば、機械一部品対応行列 \mathbf{R} は次のように与えられる。

$$\mathbf{R} = [r_{mp}] = \begin{matrix} & \text{Parts} \\ & \begin{matrix} 1 & 2 & \cdots & p & \cdots & P \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{Machines} \\ 1 \\ \vdots \\ m \\ \vdots \\ M \end{matrix} & \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1p} & \cdots & r_{1P} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mp} & \cdots & r_{mP} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{M1} & r_{M2} & \cdots & r_{Mp} & \cdots & r_{MP} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \cdots \cdots \cdots (1)$$

ただし,

$$r_{mp} = \begin{cases} 1: \text{機械 } m \text{ で部品 } p \text{ が} \\ \quad \text{処理されるとき} & \dots\dots\dots(2) \\ 0: \text{それ以外るとき} \end{cases}$$

で, M は機械の種類総数, P は部品の種類数である。

ここで, 機械セル構成問題の本質を明確にするために, 図 1(a)に示すような機械一部品対応行列が与えられた場合を考える。上述の定義より, 機械Aは部品 1, 3, 5 をそれぞれ処理するために使用され, 他方, 部品 2 は機械BおよびEで処理されることがわかる。しかしながら, この段階でどの機械とどの機械とが機械セルを構成するためにグループ化されるかを判別することは難しい。そこで, 機械間の類似度を定義し, クラスタ分析により機械のグループ化を行う。その結果, 図 1(b)に示すような構造化された機械一部品対応行列が得られたとすると, 2つの機械セルが構成されることが容易に理解できる。すなわち, 機械B, D, Eから構成された機械セル 1 と機械A, Cとから成る機械セル 2 である。このような機械種類数と部品種類数がともに少ない場合には, 試行錯誤的に行と列をそれぞれ並べ変えて図 1(b)のような構造化行列に変換することは可能であるが, 行列の規模が大きくなるにつれて並べ変えの組合せ数は急激に増加し, 効率的に適切な機械セルの構成を得ることは困難となる。このような場合, 機械間の類似度を適切に定義し, クラスタ分析を適用することによって, 容易に機械セルを構成することができる。

		Parts					
		1	2	3	4	5	6
Machines	A	1	0	1	0	1	0
	B	0	1	0	0	0	1
	C	0	0	1	0	1	0
	D	0	0	0	1	0	1
	E	0	1	0	1	0	1

		Parts					
		2	6	4	1	3	5
Machines	B	1	1	0	0	0	0
	D	0	1	1	0	0	0
	E	1	1	1	0	0	0
	A	0	0	0	1	1	1
	C	0	0	0	0	1	1

(a)与えられた機械－部品対応行列

(b)構造化された機械－部品行列

図1 機械セル構成問題の例

2 機械間の類似度

クラスター分析により適切な機械セルを構成するためには、機械間に何らかの類似度を定義しなければならない。機械と部品の対応関係が式(1)、(2)で記述されたカテゴリー的データで与えられているので、機械間の類似度はこの点を考慮して定義する必要がある。

そこで、機械間の類似度を定義するために、次のような値を求める。任意の異なる2つの機械 $i, j (i \neq j; i, j = 1, 2, \dots, M)$ について、

$$X_{ij} = \sum_{p=1}^P r_{ip} \cdot r_{jp}$$

$$Y_{ij} = \sum_{p=1}^P r_{ip} \cdot (1 - r_{jp})$$

$$Z_{ij} = \sum_{p=1}^P (1 - r_{ip}) \cdot r_{jp}$$

および任意の機械 i について、

$$N_i = \sum_{p=1}^P r_{ip}$$

を計算する。ここで、 X_{ij} は機械 i と j において共に処理される部品の種類数であり、 Y_{ij} は機械 i を使用するが機械 j は使用しない部品の種類数であり、 Z_{ij} は逆に機械 i は使用せず機械 j を使用する部品の種類数を表す。また、 N_i は機械 i で処理される部品の種類数である。

機械セル構成問題では、機械－部品対応行列 \mathbf{R} における2値変数 r_{mp} が1であることに意味が

あるので、機械間の類似度として、任意の機械 i, j について次の4種類の類似度 $S_{ij}^k (k=1, 2, 3, 4; i, j=1, 2, \dots, M)$ を用いる。

(1) Jaccard の類似度: S_{ij}^1

$$S_{ij}^1 = \frac{X_{ij}}{X_{ij} + Y_{ij} + Z_{ij}} \dots\dots\dots(3)$$

この類似度は2値データ間の類似度を定義するのによく用いられる代表的なものの1つであり、機械セル構成問題に対して McAuley が最初に用いたものである。

(2) MACE の類似度: S_{ij}^2

$$S_{ij}^2 = \frac{X_{ij}^2}{N_i \times N_j} \dots\dots\dots(4)$$

この類似度は Waghodekar と Sahu が提案した機械セル構成アルゴリズム MACE⁽¹⁶⁾の中で用いられているものであり、定義式の形から乗法的類似係数(Product-Type Similarity Coefficient)と呼ばれている。

(3) 最小一致類似度: S_{ij}^3

$$S_{ij}^3 = \frac{X_{ij}}{\min(N_i, N_j)} \dots\dots\dots(5)$$

これは、一方が他方をどの程度包含しているかを表すために用いられる類似度である。したがって、 $N_i \leq N_j$ で、かつ $S_{ij}^3=1$ の場合、機械 i は機械 j に完全に含まれることを意味する。

(4) 最大一致類似度: S_{ij}^4

$$S_{ij}^4 = \frac{X_{ij}}{\max(N_i, N_j)} \dots\dots\dots(6)$$

この類似度は上記 S_{ij}^3 との対比で用いるために考案されたものである。機械 i と j とが完全に一致しているときに限り、 $S_{ij}^4=1$ となる。

これら4種類の機械間の類似度はいずれも次式を満たす。

$$0 \leq S_{ij}^k \leq 1 \dots\dots\dots(7)$$

ここで、類似度 S_{ij}^k の値が大きいほど、機械 i, j 間の類似度が大きいことを意味する。

いま、上述の各類似度の計算方法を説明するために、図1(a)に与えられた機械一部品対応行列において、一例として機械D、E間の各類似度の値を式(3)–(6)に従って計算した結果を以下に示す。

$$S_{DE}^1 = \frac{2}{2+0+1} = \frac{2}{3}, \quad S_{DE}^2 = \frac{2^2}{2 \times 3} = \frac{4}{6}$$

$$S_{DE}^3 = \frac{2}{\min(2, 3)} = \frac{2}{2}, \quad S_{DE}^4 = \frac{2}{\max(2, 3)} = \frac{2}{3}$$

III クラスター分析の適用

クラスター分析(Cluster Analysis)とは、データを構成している個体を何らかの基準に基づいて分類することにより、データの構造を知る有効な手法の1つであり、数値分類法(Numerical Taxonomy)とも呼ばれる。分析の目的や用途に応じて種々の方法が提案されているが⁽¹⁰⁾、個体間に定められた類似度をもとにして、互いに似たものを集めて1つのグループ(クラスター)として、全体を幾つかのクラスターに分割する方法が、一般に利用されている。

1 クラスタリング・アルゴリズム

ここで用いる手法は組合せの手法(Combinatorial Method)と呼ばれ、計算が比較的容易なため、広く用いられている。この手法の特徴は、クラスターが形成されていく過程がある階層的な構造をもつことと、その形成過程におけるクラスター間の類似度が一段階前での類似度によって計算されることである。

機械セル構成問題に対する階層的クラスター分析による機械セル構成の基本的なアルゴリズムは、次の4つのステップから成る。

〔ステップ1〕 初期状態として、M台の機械それぞれが1つの機械セルを形成しているものとする。

〔ステップ2〕 機械セル間の類似度を参照して、最も類似度の大きい機械セルの対を求め、それらを融合して、より大きい1つの機械セルを形成する。

〔ステップ3〕 すべての機械セル間の類似度がゼロとなるか、またはすべての機械セルが融合され全体が1つの機械セルになれば、終了。そうでなければ、次のステップ4にすすむ。

〔ステップ4〕 新しく形成された機械セルと、他の機械セルとの間の類似度を再計算し、ステップ2にもどる。

2 クラスタリングの方法

上述のアルゴリズムのステップ4において行われる機械セル間の類似度の再計算の仕方には、種々の方法がある。代表的な方法としては、最短距離法、最長距離法、群平均法、重心法、メジアン法、Ward法、可変法がある。これら7つの方法のうち、重心法、メジアン法、Ward法、可変法は、クラスター間の類似度をユークリッド距離で定義することを前提としている。したがって、機械間の類似度が式(3)–(6)で定義されているので、これら4方法を適用することは適切でない。ここでは、クラスター間の類似度を自由にとることのできる、最短距離法、最長距離法、群平均法を採用することにする。

いま、機械セル C_e と機械セル C_f を融合して、新しく機械セル C_g を形成する段階を考える。この

とき、各機械セルの大きさ、すなわち、その中に含まれる機械台数をそれぞれ n_e , n_f , $n_g (= n_e + n_f)$ とする。

(1) 最短距離法 (Single Linkage Method)

融合された新しい機械セル C_g と他の任意の機械セル C_h との間の類似度 S_{gh}^k を、融合する前の段階の 2 つの機械セル C_e , C_f と機械セル C_h との類似度 S_{eh}^k , S_{fh}^k を用いて、次式で再計算する。

$$S_{gh}^k = \max(S_{eh}^k, S_{fh}^k) \dots\dots\dots(8)$$

この再計算式を、すべてが 1 台の機械から成る機械セルのときから順次適用すると、結局、2 つの機械セル間の類似度はそれぞれに含まれる機械の対の中で、最も類似度の大きい機械対の間の類似度によって計算されることになる。

(2) 最長距離法 (Complete Linkage Method)

この手法は上記(1)と逆に機械セル間の類似度として、2 つの機械セルに属する機械間の類似度の最小値をとるものである。最長距離法による再計算は次式で行われる。

$$S_{gh}^k = \min(S_{eh}^k, S_{fh}^k) \dots\dots\dots(9)$$

(3) 群平均法 (Group Average Method)

最短距離法や最長距離法では、機械セル間の類似度はそれらを構成する機械対の類似度の中の最大または最小という極端な値にもとづいて再計算されている。これに対して、機械セル間の類似度をそれらに含まれる機械間の類似度の平均的な値で再計算しようとする考え方がある。群平均法はそのような方法の 1 つで、機械セル C_g に含まれる機械と他の機械セル C_h に含まれる機械の、可能なすべての対の類似度の平均により、両機械セル間の類似度を再計算する。融合する前と後の類似度の間の関係は次式で与えられる。

$$S_{gh}^k = (n_e \cdot S_{eh}^k + n_f \cdot S_{fh}^k) / (n_e + n_f) \dots\dots\dots(10)$$

すでに明らかなように式(8)–(10)の再計算式によれば、機械セル間の類似度を更新する際、機械間の初期類似度を参照することなく、更新前の機械セル間の類似度のみを用いて次々に計算できるようになっている。また、各段階で最も類似度の大きい 2 つの機械セルを 1 つの新しい機械セルに融合することによって、逐次機械セルが形成されていく過程が階層的になっていることもわかる。

IV 計 算 例

数値計算例として、図 2 に示すような機械一部品対応行列を考える。式(3)–(6)で定義された 4 種類の機械間の類似度 S_{ij}^k を求めた結果を、それぞれ図 3 (a)–(d) に示す。4 種類の機械間の類似度と 3 通りのクラスタリング方法とで、12 の異なる機械セル構成問題が考えられる。しかしながら、紙面の都合により、ここでは Jaccard の類似度で定義された機械間の類似度に基づき最短距離法

によって機械セルの構成を行った場合について、その形成過程を示す。なお、本稿で述べた機械セル構成問題に対する階層的クラスター分析のアルゴリズムを、Microsoft Quick BASIC 4.5でプログラム化し、日本 IBM PS5530Z SX を用いて実行した。

*** THE FOLLOWING IS THE DATA SET OF THE PROBLEM TO BE SOLVED ***

* FILE NAME : CL.DAT
* PROBLEM NAME : CLUSTER

* NUMBER OF MACHINES = 12
* NUMBER OF PARTS = 12

** MACHINE-PART RELATION MATRIX **

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
M/P		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	3	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
4	4	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0
5	5	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1
6	6	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
7	7	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
8	8	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
9	9	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
10	10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	11	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
12	12	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0

図2 計算例のための初期の機械一部品対応行列

=====

INITIAL SIMILARITY COEFFICIENTS BETWEEN MACHINES
BASED ON THE DEFINITION BY Jaccard's S.C. (JACCARD)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I/J		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	--	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2	2		--	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00
3	3			--	0.80	0.00	1.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4				--	0.13	0.80	0.14	0.80	0.14	0.00	0.00	0.00
5	5					--	0.00	0.75	0.14	0.75	0.00	0.00	0.00
6	6						--	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7							--	0.17	1.00	0.00	0.00	0.00
8	8								--	0.17	0.00	0.00	0.00
9	9									--	0.00	0.00	0.00
10	10										--	0.00	0.00
11	11											--	1.00
12	12												--

=====

(a) Jaccard の類似度に基づく機械間の類似度

=====

INITIAL SIMILARITY COEFFICIENTS BETWEEN MACHINES
 BASED ON THE DEFINITION BY MACE's S.C. (PRODUCT-TYPE)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I/J		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	--	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2	2		--	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00
3	3			--	0.80	0.00	1.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4				--	0.05	0.80	0.07	0.80	0.07	0.00	0.00	0.00
5	5					--	0.00	0.75	0.06	0.75	0.00	0.00	0.00
6	6						--	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7							--	0.08	1.00	0.00	0.00	0.00
8	8								--	0.08	0.00	0.00	0.00
9	9									--	0.00	0.00	0.00
10	10										--	0.00	0.00
11	11											--	1.00
12	12												--

=====

(b) MACE の類似度に基づく機械間の類似度

=====

INITIAL SIMILARITY COEFFICIENTS BETWEEN MACHINES
 BASED ON THE DEFINITION BY Minimum Matching Coefficient (MIN-MC)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I/J		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	--	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2	2		--	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
3	3			--	1.00	0.00	1.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4				--	0.25	1.00	0.33	1.00	0.33	0.00	0.00	0.00
5	5					--	0.00	1.00	0.25	1.00	0.00	0.00	0.00
6	6						--	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7							--	0.33	1.00	0.00	0.00	0.00
8	8								--	0.33	0.00	0.00	0.00
9	9									--	0.00	0.00	0.00
10	10										--	0.00	0.00
11	11											--	1.00
12	12												--

=====

(c) 最小一致類似度に基づく機械間の類似度

=====

INITIAL SIMILARITY COEFFICIENTS BETWEEN MACHINES
 BASED ON THE DEFINITION BY Maximum Matching Coefficient (MAX-MC)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I/J		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	--	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2	2		--	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00
3	3			--	0.80	0.00	1.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4				--	0.20	0.80	0.20	0.80	0.20	0.00	0.00	0.00
5	5					--	0.00	0.75	0.25	0.75	0.00	0.00	0.00
6	6						--	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7							--	0.25	1.00	0.00	0.00	0.00
8	8								--	0.25	0.00	0.00	0.00
9	9									--	0.00	0.00	0.00
10	10										--	0.00	0.00
11	11											--	1.00
12	12												--

=====

(d) 最大一致類似度に基づく機械間の類似度

図3 計算例における機械間の類似度

付録に実行結果を示す。ここで、各段階で融合された機械セルに対して、たとえば第1段階で機械セル1と機械セル10とを融合してできた新しい機械セルは1と番号付けるというように、若い方の番号をつけている。いま、10回目の繰り返し段階において、機械セル1と機械セル2が融合され新たに機械セル1となり、次の段階に進んだときを考察する(11回目の繰り返し段階)。このとき、機械セル1と機械セル11がまだ融合させずに残っているが、これら機械セル間の類似度はゼロであるため、機械セル形成過程はこの段階で終了する。このことは、与えられた機械セル構成問題では、互いに完全に独立した2つの機械セルが構成されたことを意味している。

機械セル構成の最終結果についての理解を容易にするために、構造化された機械一部品対応行列を図4に示す。さらに、機械セル形成過程を視覚的に示したデンドログラム(Dendrogram)を図5に与える。

		Parts											
		3	4	8	11	9	7	10	12	1	2	5	6
Machines	3	1	1	1	1								
	6	1	1	1	1								
	4	1	1	1	1	1							
	8	1	1	1		1							
	7					1	1	1					
	9					1	1	1					
	5					1	1	1	1				
	2								1	1	1		
	1									1	1		
	10									1	1		
	11											1	1
	12											1	1

Cell 1

Cell 2

図4 計算例における構造化された機械一部品対応行列
(空の要素はゼロを意味する)

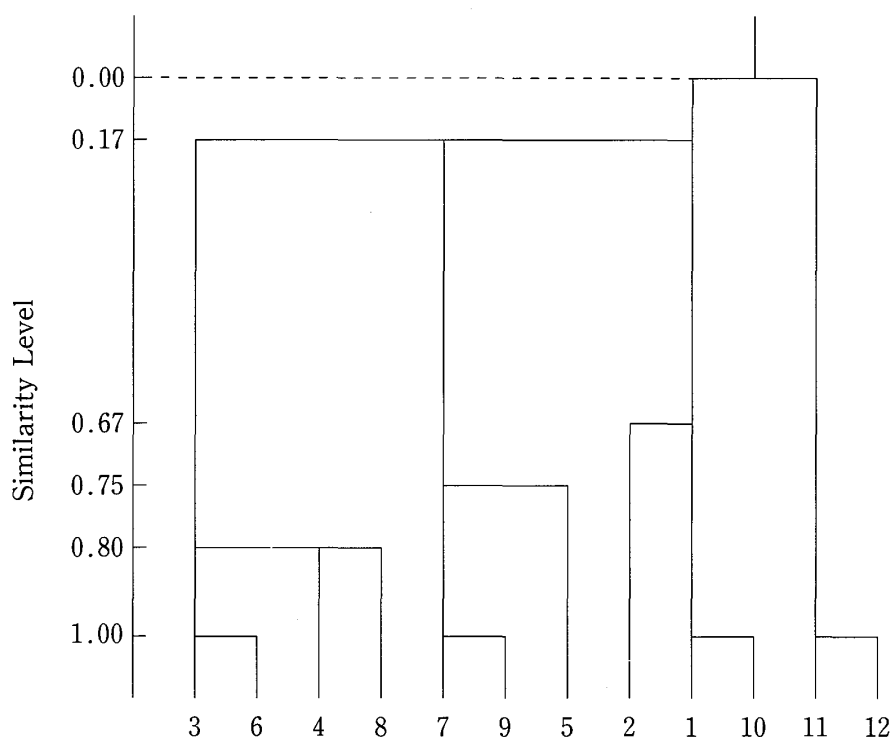


図5 計算例のデンドログラム

V 結 言

本稿では、セル構造生産システムの基本構造設計において重要な問題である機械セル構成問題を取りあげ、適切な機械セルを構成するために類似度基準に基づく階層的クラスター分析の適用を試みた。なお、クラスター分析を適用する際の問題点として、適切な機械セルの数を決定する問題がある。この点については、別報で報告したい。さらに、ここで考慮した機械間の類似度およびクラスタリングの方法、すなわち、機械セル間の類似度の再計算方法についての比較検討も重要な問題である。この点についても、今後の研究課題としたい。

参 考 文 献

- (1) Talavage, J. and R.G.Hannan (1988), *Flexible Manufacturing Systems in Practice : Application, Design, and Simulation*, Marcel Dekker, New York, U.S.A..
- (2) Weatherall, A. (1988), *Computer Integrated Manufacturing : From Fundamentals to Implementation*, Butterworths, London, UK.
- (3) Huang, P.Y. and B.L.W. Houck (1985), "Cellular Manufacturing: An Overview and

- Bibliography," *Production and Inventory Management*, Vol.26, No.4, pp.83-93.
- (4) Burbidge, J.L. (1975), *The Introduction of Group Technology*, Heinemann, London, UK.
 - (5) Gallagher, C.C. and W.A. Knight (1986), *Group Technology Production Methods in Manufacturing*, Ellis Horwood, London, UK.
 - (6) Burbidge, J.L. (1971), "Production Flow Analysis," *Production Engineer*, Vol.50, Nos. 4/5, pp.139-152.
 - (7) Chu, C.-H. (1989), "Cluster Analysis in Manufacturing Cellular Formation," *OMEGA*, Vol.17, No.3, pp.289-295.
 - (8) Yasuda, K. (1990), "Cellular Manufacturing Systems : Classification and Research Bibliography," *Journal of Faculty of Commerce, Chukyo University*, Vol.37, No.1, pp.109-143.
 - (9) Yasuda, K. (1990), "BASIC Program for Cell Formation using ROC Algorithm," *Journal of Faculty of Commerce, Chukyo University*, Vol.37, No.4, pp.17-62.
 - (10) Everitt, B. (1976), *Cluster Analysis*, John Wiley & Sons, New York, U.S.A..
 - (11) Mosier, C.T. (1989), "An Experiment Investigating the Application of Clustering Procedures and Similarity Coefficients to the GT Machine Cell Formation Problem," *International Journal of Production Research*, Vol.27, No.10, pp.1811-1835.
 - (12) McAuley, J. (1972), "Machine Grouping for Efficient Production," *Production Engineer*, Vol.51, No.2, pp.53-57.
 - (13) Mosier, C.T. and L. Taube (1985), "Weighted Similarity Measure Heuristics for the Group Technology Machine Clustering Problem," *OMEGA*, Vol.13, No.6, pp.577-583.
 - (14) Seifoddini, H. and P.M. Wolfe (1987), "Selection of a Threshold Value Based on Material Handling Cost in Machine-Component Grouping," *IIE Transactions*, Vol.19, No.3, pp.266-270.
 - (15) Gupta, T. and H. Seifoddini (1990), "Production Data Based Similarity Coefficient for Machine-Component Grouping Decisions in the Design of a Cellular Manufacturing System," *International Journal of Production Research*, Vol.28, No.7, pp.1247-1269.
 - (16) Waghodekar, P.H. and S. Sahu (1984), "Machine-Component Cell Formation in Group Technology : MACE," *International Journal of Production Research*, Vol.22, No.6, pp. 937-948.

付録 計算例の実行結果

```
*****
*
*           THE USE OF
*   SIMILARITY COEFFICIENT-BASED
*   HIERARCHICAL CLUSTERING TECHNIQUES
*   FOR MACHINE CELL FORMATION
*   IN CELLULAR MANUFACTURING
*
*****
```

WRITTEN BY DR. K. YASUDA

COPYRIGHT JUNE, 1991

*** THE FOLLOWING IS THE DATA SET OF THE PROBLEM TO BE SOLVED ***

* FILE NAME : CL.DAT
* PROBLEM NAME : CLUSTER

* NUMBER OF MACHINES = 12
* NUMBER OF PARTS = 12

** MACHINE-PART RELATION MATRIX **

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
M/P		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	3	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
4	4	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0
5	5	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1
6	6	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
7	7	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
8	8	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
9	9	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
10	10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	11	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
12	12	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0

*** SIMILARITY COEFFICIENT MEASURE ***

Jaccard's S.C. (JACCARD)

*** CLUSTERING METHOD ***

Single Linkage Method (SLINK)

=====

INITIAL SIMILARITY COEFFICIENTS BETWEEN MACHINES
 BASED ON THE DEFINITION BY Jaccard's S.C. (JACCARD)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I/J		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	--	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2	2		--	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00
3	3			--	0.80	0.00	1.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4				--	0.13	0.80	0.14	0.80	0.14	0.00	0.00	0.00
5	5					--	0.00	0.75	0.14	0.75	0.00	0.00	0.00
6	6						--	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7							--	0.17	1.00	0.00	0.00	0.00
8	8								--	0.17	0.00	0.00	0.00
9	9									--	0.00	0.00	0.00
10	10										--	0.00	0.00
11	11											--	1.00
12	12												--

***** CLUSTERING PROCESS : ITERATION = 1 *****

MAXIMUM SIMILARITY BETWEEN MACHINE CELLS = 1
 MACHINE CELL 1 - MACHINE CELL 10

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CELL		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	--	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
2	2		--	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00
3	3			--	0.80	0.00	1.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4				--	0.13	0.80	0.14	0.80	0.14	0.00	0.00	0.00
5	5					--	0.00	0.75	0.14	0.75	0.00	0.00	0.00
6	6						--	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7							--	0.17	1.00	0.00	0.00	0.00
8	8								--	0.17	0.00	0.00	0.00
9	9									--	0.00	0.00	0.00
10	10										--	0.00	0.00
11	11											--	1.00
12	12												--

***** CLUSTERING PROCESS : ITERATION = 2 *****

MAXIMUM SIMILARITY BETWEEN MACHINE CELLS = 1
MACHINE CELL 3 - MACHINE CELL 6

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CELL		1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12
1	1	--	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2		--	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3			--	0.80	0.00	1.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00
4	4				--	0.13	0.80	0.14	0.80	0.14	0.00	0.00
5	5					--	0.00	0.75	0.14	0.75	0.00	0.00
6	6						--	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00
7	7							--	0.17	1.00	0.00	0.00
8	8								--	0.17	0.00	0.00
9	9									--	0.00	0.00
10	11										--	1.00
11	12											--

***** CLUSTERING PROCESS : ITERATION = 3 *****

MAXIMUM SIMILARITY BETWEEN MACHINE CELLS = 1
MACHINE CELL 7 - MACHINE CELL 9

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CELL		1	2	3	4	5	7	8	9	11	12
1	1	--	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2		--	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3			--	0.80	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00
4	4				--	0.13	0.14	0.80	0.14	0.00	0.00
5	5					--	0.75	0.14	0.75	0.00	0.00
6	7						--	0.17	1.00	0.00	0.00
7	8							--	0.17	0.00	0.00
8	9								--	0.00	0.00
9	11									--	1.00
10	12										--

***** CLUSTERING PROCESS : ITERATION = 4 *****

MAXIMUM SIMILARITY BETWEEN MACHINE CELLS = 1
MACHINE CELL 11 - MACHINE CELL 12

CELL	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1	2	3	4	5	7	8	11	12
1 1	--	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2 2		--	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00
3 3			--	0.80	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00
4 4				--	0.13	0.14	0.80	0.00	0.00
5 5					--	0.75	0.14	0.00	0.00
6 7						--	0.17	0.00	0.00
7 8							--	0.00	0.00
8 11								--	1.00
9 12									--

***** CLUSTERING PROCESS : ITERATION = 5 *****

MAXIMUM SIMILARITY BETWEEN MACHINE CELLS = .8
MACHINE CELL 3 - MACHINE CELL 4

CELL	1	2	3	4	5	6	7	8
	1	2	3	4	5	7	8	11
1 1	--	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2 2		--	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00
3 3			--	0.80	0.00	0.00	0.60	0.00
4 4				--	0.13	0.14	0.80	0.00
5 5					--	0.75	0.14	0.00
6 7						--	0.17	0.00
7 8							--	0.00
8 11								--

***** CLUSTERING PROCESS : ITERATION = 6 *****

MAXIMUM SIMILARITY BETWEEN MACHINE CELLS = .8
MACHINE CELL 3 - MACHINE CELL 8

	1	2	3	4	5	6	7
CELL	1	2	3	5	7	8	11
1 1	--	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2 2		--	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00
3 3			--	0.13	0.14	0.80	0.00
4 5				--	0.75	0.14	0.00
5 7					--	0.17	0.00
6 8						--	0.00
7 11							--

***** CLUSTERING PROCESS : ITERATION = 7 *****

MAXIMUM SIMILARITY BETWEEN MACHINE CELLS = .75
MACHINE CELL 5 - MACHINE CELL 7

	1	2	3	4	5	6
CELL	1	2	3	5	7	11
1 1	--	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00
2 2		--	0.00	0.17	0.00	0.00
3 3			--	0.14	0.17	0.00
4 5				--	0.75	0.00
5 7					--	0.00
6 11						--

***** CLUSTERING PROCESS : ITERATION = 8 *****

MAXIMUM SIMILARITY BETWEEN MACHINE CELLS = .6666667
MACHINE CELL 1 - MACHINE CELL 2

	1	2	3	4	5
CELL	1	2	3	5	11
1 1	--	0.67	0.00	0.00	0.00
2 2		--	0.00	0.17	0.00
3 3			--	0.17	0.00
4 5				--	0.00
5 11					--

***** CLUSTERING PROCESS : ITERATION = 9 *****

MAXIMUM SIMILARITY BETWEEN MACHINE CELLS = .1666667
MACHINE CELL 1 - MACHINE CELL 5

CELL	1	2	3	4
	1	3	5	11
1 1	--	0.00	0.17	0.00
2 3		--	0.17	0.00
3 5			--	0.00
4 11				--

***** CLUSTERING PROCESS : ITERATION = 10 *****

MAXIMUM SIMILARITY BETWEEN MACHINE CELLS = .1666667
MACHINE CELL 1 - MACHINE CELL 3

CELL	1	2	3
	1	3	11
1 1	--	0.17	0.00
2 3		--	0.00
3 11			--

***** CLUSTERING PROCESS : ITERATION = 11 *****

MAXIMUM SIMILARITY BETWEEN MACHINE CELLS = 0
MACHINE CELL 1 - MACHINE CELL 11

CELL	1	2
	1	11
1 1	--	0.00
2 11		--

***** TERMINATION OF CLUSTERING PROCESS *****